



Patent beschränkt
aufrechterhalten nach
§ 12 Abs. 3 ErstrG

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Aufrechterhaltung kann Einspruch eingelegt werden

| | | | |
|-----------------------|------------------|---|--|
| (21) Aktenzeichen: | (22) Anmeldetag: | (44) Veröff.-tag der DD-Patentschrift: | (45) Veröff.-tag der Aufrechterhaltung: |
| DD C 21 D / 325 296 0 | 27. 01. 89 | 12. 12. 90 | 28. 01. 99 |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| (30) Unionspriorität: | | |
| (31) P3803064.0 P3843732.5 | (32) 29. 01. 88 22. 12. 88 | (33) DE - DE |

| | |
|---------------------|---|
| (72) Erfinder: | Freier, Klaus, Dr., 38302 Wolfenbüttel, DE; Zimnik, Walter, Dr., 38302 Wolfenbüttel, DE |
| (73) Patentinhaber: | Preussag Stahl Aktiengesellschaft, 38239 Salzgitter, DE |
| (74) Vertreter: | Patent- und Rechtsanwaltssozietät Gramm, Lins & Partner, 38122 Braunschweig |

(54) Verfahren zur Herstellung eines kaltgewalzten Bleches oder Bandes sowie ein zum Tiefziehen geeignetes kaltgewalztes Blech oder Band und dessen Verwendung

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

- DE 3 234 574 A1/Anspr. 1-3 und S. 9, Tabelle
- DE 3 114 020 A1/Anspr. 1, Seite 8, letzter Abs.-S. 9, 2. Abs. und S. 3, 1. Abs.
- EP 0 120 976 A1/Anspr. 1
- EP 0 101 740 A1/Abstract und Anspr. 1, 2
- SINGER, Helmut: Tiefziehen mit texturfreiem Kaltband, In: BLECH · Rohre · Profile, 9/1977, S. 341-346/S. 342, Punkt 3

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung eines kaltgewalzten Bleches oder Bandes mit guter Umformbarkeit aus Stahl mit folgender Zusammensetzung in Gewichtsprozenten:

| | |
|----------------|---|
| 0,02 - 0,10 | % Kohlenstoff |
| max. 0,40 | % Silizium |
| 0,10 bis 1,0 | % Mangan |
| max. 0,08 | % Phosphor |
| max. 0,02 | % Schwefel |
| max. 0,009 | % Stickstoff |
| 0,015 bis 0,08 | % Aluminium |
| 0,01 bis 0,04 | % Titan |
| max. 0,15 | % von einem oder mehreren der Elemente aus der Gruppe Kupfer, Vanadium, Nickel, |

Rest Eisen und unvermeidbare Verunreinigungen, welches nach dem Warmwalzen und Kaltwalzen gegläht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bramme auf oberhalb 1120 °C erwärmt und zu Warmband einer Walzendtemperatur oberhalb des Ar₃-Punktes ausgewalzt und bei 420 °C - 700 °C gehaspelt, in Abhängigkeit vom Titangehalt mit nachstehenden Umformgraden (Epsilon) kaltgewalzt wird:

| | |
|-------------------|------------------------|
| etwa 0,01% Titan: | Epsilon 20% - 60% |
| etwa 0,02% Titan: | Epsilon 5% - 20% |
| | oder Epsilon 40% - 85% |
| etwa 0,03% Titan: | Epsilon 5% - 25% |
| | oder Epsilon 50% - 85% |
| etwa 0,04% Titan: | Epsilon 15% - 25% |
| | oder Epsilon 55% - 80% |

und anschließend bei Temperaturen unterhalb A₁ rekristallisierend im Bund gegläht und danach mit einem Umformgrad von etwa 1% dressiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Umformgrade (Epsilon) zwischen 30% und 50% für einen Titangehalt von etwa 0,01%.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Umformgrade (Epsilon) zwischen 10% und 15% für einen Titangehalt von 0,02%.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** einen Umformgrad (Epsilon) zwischen 50% und 80% für einen Titangehalt von etwa 0,02%.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Umformgrade (Epsilon) zwischen 10% und 20% für einen Titangehalt von etwa 0,03%.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Umformgrade (Epsilon) zwischen 60% und 80% für einen Titangehalt von etwa 0,03%.
7. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** einen Umformgrad (Epsilon) von 20% für einen Titangehalt von etwa 0,04%.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Umformgrade (Epsilon) zwischen 60% und 70% für einen Titangehalt von etwa 0,04%.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Titangehalt auf mindestens das 3,5fache des Stickstoffgehaltes eingestellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Stahl eingesetzt wird, der zusätzlich 0,01% - 0,06% Niob enthält.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Abhängigkeit vom Titangehalt mit nachstehenden Umformgraden (Epsilon) kaltgewalzt wird:

| | |
|-------------------|-------------------|
| etwa 0,01% Titan: | Epsilon 45% - 85% |
| etwa 0,02% Titan: | Epsilon 55% - 85% |
| etwa 0,03% Titan: | Epsilon 60% - 70% |

und anschließend bei Temperaturen unterhalb A₁ rekristallisierend gegläht und danach mit einem Umformgrad von etwa 1% dressiert wird.

12. Zum Tiefziehen geeignetes kaltgewalztes Blech oder Band aus Stahl, herstellbar nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

Hierzu 17 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines kaltgewalzten Bleches oder Bandes sowie in zum Tiefziehen geeignetes kaltgewalztes Blech oder Band und dessen Verwendung.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zum Tiefziehen von rotationssymmetrischen Stahlteilen wird möglichst texturfrees kaltgewalztes Band oder Blech eingesetzt, damit ein quasiisotropes Umformen möglich und das gezogene Teil zipfelfrei ist. Damit ist gemeint, daß ein z. B. zylindrisch tiefgezogenes Teil keinen welligen Rand aufweist.

Eine vollkommene Zipfelfreiheit ist nur von isotropem Material ohne Steigerungen, ohne nichtmetallische Einschlüsse, ohne perschnurartige Zementitausscheidungen und bei pan-cake-freiem Gefüge zu erwarten. Daher wird in der folgenden Beschreibung nur der Begriff „zipfelfarmes“ auch für nach dem Stand der Technik „zipfelfreies“ Band verwendet. In „Blech, Rohre, Profile“ 9/1977, S. 341-346 wird detailliert die Ursache für die Zipfelbildung beschrieben und ein Maß für die relative Zipfelhöhe Z sowie die ebene Anisotropie Δr definiert. Ideal wären jeweils Ergebnisse mit dem Wert Null (zipfelfreies Material).

Der Wert für die ebene Anisotropie errechnet sich aus der Anisotropie r für unterschiedliches Ausdehnungsverhalten des Materials in Walzrichtung sowie unter 45 Grad und 90 Grad dazu.

Für unterschiedliche Tiefzieheigenschaften sind verschiedene r -Werte einstellbar.

Für die in der Veröffentlichung erwähnten Stähle läßt sich zipfelfreies Material nur durch Normalgrößen des kaltgewalzten Bandes in einer Durchlaufglühe bei etwa 1000 °C erreichen, wobei das Blech im Endzustand eine Korngröße ASTM 8 bei einer relativen Zipfelhöhe von etwa 0,3 bis 0,4% und Δr etwa $\pm 0,1$ erreichen.

Für nicht normalisierend geglühtes Band sei nur ein zipfelfarmer Zustand durch Kompromisse in der Verfahrensführung bei der Blechherstellung zu erreichen. Dabei sollen die Walzendtemperaturen etwa 750 °C und die Kaltwalzgrade entweder unter 25% oder über 80% liegen und mit als für die Zipfeligkeit ungünstig bezeichneten Rekristallisationstemperaturen von über 600 °C gearbeitet werden.

Beschrieben wird weiterhin, daß ein Normalisieren nicht im Bund, sondern nur in einer Durchlaufglühe erfolgen kann, weil bei den hohen Temperaturen die Bänder zusammenkleben würden.

Aus der DE-OS 3 234 574 ist ein gattungsgemäßes zum Tiefziehen geeignetes kaltgewalztes Stahlblech oder Stahlband bekannt. Der Titangehalt soll, in Abhängigkeit der Gehalte an Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel und Stickstoff, auf Werte bis 0,15% steigen können, die Haspeltemperatur über 700 °C oder mindestens jedoch 580 °C mit anschließender Warmband-Erwärmung auf über 700 °C betragen. Weiterhin wird ein Kaltwalzgrad von 70 bis 85 °C sowie ein Durchlaufglühen bei 700 bis 900 °C mit maximal zwei Minuten Haltezeit empfohlen. Hinweise zur Zipfelbildung des Materials werden nicht gegeben. Aus der EP-A1-101740 wird für einen gattungsgemäßen kaltgewalzten Stahl eine Brammenerwärmungstemperatur kleiner als 1100 °C, eine Walzendtemperatur von unter A_3 , Haspeltemperaturen von 320 bis 600 °C und Kaltwalzgrade von 50 bis 95% sowie rekristallisierendes Durchlaufglühen empfohlen. Dabei soll ein Stahl mit maximal 0,005% Kohlenstoff, maximal 0,004% Stickstoff und maximal 0,02% Niob in Kombination mit einem oder mehreren der Elemente Aluminium, Chrom, Bor oder Wolfram Verwendung finden. Erzielt werden hohe mittlere r -Werte oberhalb 1,2. Hinweise auf die Zipfligkeit des Materials nach dem Tiefziehen sind nicht offenbart.

Ein weiteres Verfahren zur Herstellung tiefziehgeeigneter Stähle mit Brammenglühtemperatur kleiner 1100 °C, Endwalztemperatur max. 780 °C und Haspeltemperaturen von mindestens 450 °C sowie Kaltbandglühen im Hauben- oder Durchlaufglühofen sind in der EP-B1-120 976 offenbart. Das Verfahren soll r -Werte um 2 erzielen; Werte für die Zipfelbildung sind nicht offenbart.

Es ist allgemein bekannt, daß Warmband eine gute quasiisotrope Umformbarkeit besitzt, jedoch eine nicht ausreichende Oberflächengüte und zu große Toleranzen aufweist und zudem nicht in Dicken unter 1,2 mm hergestellt wird.

Ziel der Erfindung

Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines Bleches oder Bandes zur Anwendung zu bringen, welches hohe Funktions- und Gebrauchswerteigenschaften bei geringen Produktionskosten aufweist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Bleches oder Bandes sowie ein zum Tiefziehen geeignetes Blech oder Band zu schaffen, wobei das Blech oder Band nach dem Tiefziehen zipfelfrei oder zumindest zipfelfarm ist und auf ein Durchlaufglühen bei Temperaturen oberhalb A_1 verzichtet wird.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Ansprüche 1 bis 6 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen erfaßt.

Überraschenderweise hat sich gezeigt, daß bei Anwendung der erfindungsgemäßen Brammen-, Glüh-, Walz- und Haspeltemperaturen für den genannten Stahl ein rekristallisierendes Glühen eines Bundes im Haubenofen ausreicht, um dem Stahlband oder dem konfektionierten Stahlblech hervorragende Tiefzieheigenschaften, insbesondere eine extreme Zipfelarmut, zu geben.

Die üblicherweise beim Stand der Technik für den Stahl St4NZ oder RST14 durch Normalglühen erreichten Werte der Korngröße von bestenfalls ASTM8 entsprechend $490 \mu\text{m}^2$ können durch das erfindungsgemäße Verfahren durch rekristallisierendes Glühen unterschritten werden, wobei zusätzlich niedrige Streckgrenzenwerte beibehalten werden können durch Wahl entsprechender Kaltwalzgrade in Abhängigkeit vom Titangehalt. Dies ergibt den Vorteil, daß auf hohe Investitionen für eine Durchlaufglühe für eine Normalglühbehandlung verzichtet werden kann.

Durch Variation der Zulegierung von Titan in den angegebenen Grenzen läßt sich praktisch jeder gewünschte Kaltwalzgrad für die Erzeugung zipfelfreien Materials einstellen und/oder genauso ebenfalls eine Streckgrenze zwischen 175 und 450 N/mm^2 bei Zugfestigkeiten von 310 bis 520 N/mm^2 .

Eine der Ursachen für die günstigen Eigenschaften des erzeugten Bleches ist in der frühzeitigen Bildung von Titanitrid zu sehen, so daß ein pan-cake-Gefüge während des rekristallisierenden Glühens durch die Aluminium-Nitrid-Ausscheidungen nicht entstehen kann.

Durch die Wahl niedriger Haspeltemperaturen um 520°C wurden überraschend Warmbandqualitäten erzielt, die nach dem Kaltwalzen ein zipfelfreies Material gewährleisten und eine zusätzliche Kornverfeinerung ermöglichen.

Ein besonderer Vorteil des so hergestellten Warmbandes liegt darin, daß im Grundsatz keinerlei Restriktion hinsichtlich des anschließenden Kaltwalzens besteht, sofern der Kaltwalzgrad mindestens etwa 5% beträgt, d. h. oberhalb der bekannten kritischen schwachen Kaltverformung bleibt, die beim Rekristallisationsglühen zu grobem Korn führt. Bisher war man bei der Erzeugung annähernd zipfelfreien Kaltbandes an bestimmte Kaltwalzgrade gebunden, sofern nicht normalgeglüht werden sollte.

Es wurde überraschend gefunden, daß zwar ein gewisser Titangehalt in der Stahllegierung unerlässlich ist, um das erfindungsgemäße Verfahren durchführen zu können und erfindungsgemäße Materialeigenschaften zu erzielen, aber diese Verfahrensparameter zumindest hinsichtlich des Kaltwalzgrades dann anzupassen sind, wenn der Stahllegierung das festigkeitssteigernde Element Niob hinzugefügt wird.

Die Variation der Kaltwalzgrade in Abhängigkeit von der Menge des zulegierten Titans ist bei gleichzeitiger Zulegierung von Niob in den angegebenen Grenzen auf Kaltwalzgrade von 45 bis 85% beschränkt.

Die Zulegierung von Niob behindert nicht die bereits in der Stammanmeldung erwähnte frühzeitige Bildung von Titanitrid, so daß auch bei dieser erfindungsgemäßen Stahllegierung ein pan-cake-Gefüge während des rekristallisierenden Glühens nicht entstehen kann.

Eine gravierende technische und wirtschaftliche Bedeutung der Erfindung liegt in der Verwendung des Feinbleches für rotationssymmetrisch tiefgezogene Teile wie Nadellagerkäfige, Riemenscheibenhälften usw. Das erfindungsgemäße Blech kann in diesen Fällen ohne wesentliche Nacharbeit wie Abschneiden der Zipfel eingesetzt werden. Die Zipfelarmut verhindert beim Tiefziehen auch das Entstehen sektoraler Wandschwächungen, so daß die gezogenen Teile bei Rotation keine Unwucht aufweisen. Weitere Vorteile zipfelarmen oder zipfelfreien Kaltbandes sind bekannt, so daß sich eine weitere Beschreibung erübrigt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

- Fig.1 bis 9: tiefgezogene Demonstrationsnäpfchen;
- Fig.10: Darstellung der Zipfelhäufigkeit in Abhängigkeit von der Legierung;
- Fig.11: Darstellung des Verhältnisses Zipfeligkeit und Streckgrenze;
- Fig.12: Darstellung von Korngröße und Legierung;
- Fig.13 bis 18: tiefgezogene Demonstrationsnäpfchen.

Aus den erfindungsgemäßen Schmelzen A-D sowie den Vergleichsschmelzen E-F (Tabelle 1) werden Brammen von 210 mm Dicke im Strang vergossen. Nach Erwärmung im Stoßofen auf 1250°C wurde die Bramme zu Warmband von 3 mm Dicke ausgewalzt, gehaspelt und auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Walzendtemperaturen und Haspeltemperaturen zeigt Tabelle 2. Nach dem Beizen wurden Bänder durch Kaltwalzen in unterschiedlichen Stufen von 10% bis zu 80% auf Feinblechdicke reduziert und erneut gehaspelt. Das Band wurde im Haubenglühofen der Bauart Fa. Ludwig auf 70°C erwärmt, mit einem Durchsatz von 1,1 t/h bis 1,9 t/h rekristallisierend geglüht und anschließend im Ofen auf 120°C abgekühlt. Nach dem Dressieren mit Umformgraden von 1 bis 1,2% wurde das Band zu Blechtafeln konfektioniert. Blechrollen von 90 bzw. 180 mm Durchmesser wurden mit Ziehstempeln von 50 bzw. 100 mm Durchmesser bei Haltekraften von 50 kN zu Näpfchen tiefgezogen.

Fig.1 zeigt drei verschiedene Näpfchen, die die im folgenden verwendeten Begriffe zipfelig (Fig.1a), zipfelarm (Fig.1b) und zipfelfrei (Fig.1c) definieren sollen, da die Messung der Zipfelhöhe mit den handelsüblichen Zipfelmeßgeräten, insbesondere von zipfelarmen und zipfelfreien Näpfchen mit geringen Höhendifferenzen bereits bei kleinsten Tiefziehgraten auf dem Näpfchenrand problematisch ist.

Diese Definition wurde für Fig.10 zur Darstellung der Zipfeligkeit von Näpfchen aus den verschiedenen Schmelzen übernommen. Bestätigt wurde die Erkenntnis, daß der bei 710°C gehaspelte Stahl E nur bei Kaltwalzgraden kleiner etwa 25% zipfelfrei ist und im Bereich 30 bis 50% Kaltwalzgrad allenfalls als zipfelarm bezeichnet werden kann. Für den Vergleichsstahl F, der gemäß Stand der Technik bei 500°C gehaspelt wurde, wurde Zipfeligkeit bei Kaltwalzgraden größer 30% festgestellt.

Die Fotos in den Fig.8 und 9 belegen dies eindrucksvoll.

Bei Verwendung der erfindungsgemäß gewalzten und geglühten Stähle A-D zeigten die Näpfchen in Abhängigkeit vom Titangehalt bei verschiedenen Kaltwalzgraden ein unterschiedliches Tiefziehergebnis:

Stahl A mit 0,01% Ti:

- Die Näpfchen waren bei Kaltwalzgraden von Epsilon = 30 bis 50% absolut zipfelfrei, während Kaltwalzgrade von 20% bzw. 60% nur zipfelarmes Näpfchen-Ziehen ermöglichte.

- Stahl B mit 0,02% Ti:

- Zipfelfrei bei Epsilon = 10% sowie 50 bis 80%
- Zipfelarm bei Epsilon = 20%; 40%

- Stähle C1/C2 mit 0,03% Ti, wobei C1 mit 500 °C und C2 mit 450 °C gehaspelt wurde:

- Zipfelfrei bei Epsilon = 10 bis 20% sowie 60 bis 80%
- Zipfelarm bei Epsilon = 30%; 50%.

Stahl D mit 0,04% Ti:

- Zipfelfrei bei Epsilon = 60 bis 70% bzw. 20%
- Zipfelarm bei Epsilon = 15%, 25%, 55%, 80%.

Aus dem Vergleich der Kurven für die Stähle A-D lassen sich Tendenzen ablesen, die für Zwischenwerte des Legierungselementes Titan beispielsweise 0,025% Ti - ausgehend von Stahl B - zipfelfreies Näpfchenziehen bei Kaltwalzgraden bis 15% oder 20% und bis 85% erwarten lassen, also eine Kurvenverschiebung nach rechts; bei Werten zwischen 0,01% und 0,02% umgekehrt eine Verschiebung der „zipfelfreien“ Kaltwalzgrade zu niedrigeren Umformverhältnissen nahelegen.

Die zu den Stählen gemäß Fig.10 und Tabelle 1 bzw. 2 korrespondierenden Fotos der Fig.3 bis 7 von tiefgezogenen Näpfchen veranschaulichen das Ergebnis deutlich.

Überraschend zeigte sich, daß den „zipfelfreien“ Umformgraden jeweils ein bestimmtes Zugfestigkeits- und Streckgrenzenniveau zugeordnet werden konnte (Fig. 11) und die größte Zipfeligkeit gleichzeitig bei der niedrigsten Streckgrenze/Zugfestigkeit festzustellen war.

Beispiel: Stahl B

- Zipfelfreiheit beim Kaltwalzgrad 10%-15% $\hat{=}$
Streckgrenzenniveau $R_{p0,2} = 400-350 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeitsniveau $R_m = 450-400 \text{ N/mm}^2$
- Zipfeligkeit beim Kaltwalzgrad 30% $\hat{=}$
 $R_{p0,2} = 180 \text{ N/mm}^2$ und $R_m = 320 \text{ N/mm}^2$
- Zipfelfreiheit beim Kaltwalzgrad 50-80% $\hat{=}$
 $R_{p0,2} = 250 - 280 \text{ N/mm}^2$ und $R_m = 360 - 370 \text{ N/mm}^2$

Diese Erkenntnis ermöglicht eine bauteil- oder funktionsangepaßte Wahl der Festigkeit für ein und dasselbe Bauteil durch Änderung der Parameter Titangehalt und Kaltwalzgrad.

Tabelle 2 zeigt korrespondierend zu Fig. 12 die erfindungsgemäß erzielte Korngröße in ASTM-Einheiten; die erzielbare Kornverfeinerung gegenüber Stählen ohne Titanzusatz nach dem Stand der Technik ist erheblich und reicht bis ASTM11. Das größte Korn wurde bei geringem Ti-Zusatz und geringem Kaltwalzgrad erzielt (ASTM7). Vergleichsweise wurden bei den Stählen A-D die Warmband-Werte für die Korngröße (ASTM9-10) in die Fig.12 aufgenommen.

Für einen Stahl C (Varianten C3-C5) wurden Versuche mit variabler Haspeltemperatur T_h und Glühdurchsatz P_g durchgeführt (Tabelle 3). Während Schwankungen in der Durchsatzmenge des Haubenglühofens von 1,1-1,9 t/h sowohl die Korngröße als auch die ebene Anisotropie Δr nicht negativ beeinflussen, hatte eine Erhöhung der Haspeltemperaturen auf 710 °C bei annähernd gleichen Walzendtemperaturen eine Kornvergrößerung und eine Verschlechterung der ebenen Anisotropie zur Folge.

Die Fig.2a, 2b, 2c zeigen entsprechende Ergebnisse an Näpfchen aus 180-mm-Ronden, die mit 100-mm-Stempeln bei 50 kN Rückhaltekraft tiefgezogen wurden.

In Tabelle 1 sind auch die Schmelzanalysen des erfindungsgemäß bei dem Verfahren einzusetzenden Stahles G mit 0,01% Titan, H mit 0,02% Titan und I mit 0,03% Titan bei 0,05% bzw. 0,06% Niobzugabe aufgelistet, dazu wurde ein Vergleichsstahl K mit 0,05% Niobzugabe, aber ohne Titangehalt aufgeführt.

Aus den erfindungsgemäßen Schmelzen G-I sowie der Vergleichsschmelze K wurden Brammen von 200 mm Dicke im Strang vergossen. Nach Erwärmung im Stoßofen auf 1 250 °C wurde die Bramme zu Warmband von 4 mm Dicke ausgewalzt und gehaspelt sowie auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Walzendtemperatur betrug 880 °C und die Haspeltemperatur 510 °C. Nach dem Beizen wurden die Bänder durch Kaltwalzen in unterschiedlichen Stufen von 10 bis 80% auf Feinblechdicke reduziert und erneut gehaspelt. Nach dem Haspeln wurde das festgewickelte Band im Haubenglühofen der Bauart Fa. Ludwig auf 700 °C erwärmt und bei Durchsatzraten von 1,1 Tonnen bzw. 1,8 Tonnen pro Stunde rekristallisierend geglüht, anschließend im Haubenglühofen auf 120 °C abgekühlt. Nach dem Dressieren mit einem Umformgrad von 1,1% wurde das Band zu Blechtafeln konfektioniert. Blechronden von 90 mm Durchmesser wurden mit Ziehstempeln von 50 mm Durchmesser zu Näpfchen tiefgezogen (Fig.13-16).

Für den Vergleichsstahl K, der in der Legierung kein Titan enthält, ansonsten zu der gattungsgemäßen Stahlsorte gehört, zeigt Fig.16 deutlich, daß bei keinem der erprobten Kaltwalzgrade zipfelfreies Tiefziehen möglich war.

Bei Verwendung der erfindungsgemäß gewalzten und geglühten Stähle G bis I zeigten die Näpfchen in Abhängigkeit vom Titangehalt bei verschiedenen Kaltwalzgraden ein geringfügig unterschiedliches Tiefziehergebnis:

Stahl G mit 0,01% Titan (Fig.13):

Die Näpfchen waren bei Kaltwalzgraden von Epsilon = 45 bis 85% in der Kategorie zipfelarm und bei etwa 60 bis 80% Kaltwalzgraden sogar zipfelfrei.

Stahl H mit 0,02% Titan (Fig.14):

Zipfelarm im Bereich Epsilon = 55 bis 85%, fast zipfelfrei im Bereich von 60 bis 75%.

Stahl I mit 0,03% Titan (Fig.15):

Zipfalarm im Bereich von 60 bis 70% Kaltwalzgraden.

Bei den erfindungsgemäß hergestellten Stählen konnten beispielsweise bei einem Titangehalt von 0,01% am tiefziehfertigen Blech Streckgrenz- und Zugfestigkeitswerte festgestellt werden, die um mehr als 50 N/mm² über den Kennwerten des nur titanlegierten Materials lagen.

Die in Tabelle 1 aufgeführten erfindungsgemäßen Schmelzen L bzw. M mit Phosphorgehalten an der oberen Analysengrenze wurden behandelt wie die Stähle A-F. Die Haspeltemperatur betrug 510 bzw. 500 °C. Bei einem Kaltwalzgrad von 66% wurde die Konstanz der Ergebnisse über die gesamte Bandlänge geprüft, um die Effektivität des Bundglühens zu bestätigen. Die Näpfchen aus den Tiefziehversuchen sind in Fig. 17 bzw. 18 dargestellt. Sie zeigen, daß zipfelfreies Material sowohl am Bandanfang (Position 0) als auch nach jedem weiteren Viertel der Bandlänge bis zum Bandende (Position 1) erzeugt wurde.

Tabell 1 Schmelzanalyse (Werte in Gewichtsprozenten)

| Stahl | C | Si | Mn | P | S | Al | N | Ti | Nb | Bemerkungen | Figur |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------------|---------|
| A | 0,046 | 0,02 | 0,17 | 0,009 | 0,011 | 0,022 | 0,0025 | 0,01 | - | | 3 |
| B | 0,044 | 0,025 | 0,25 | 0,013 | 0,005 | 0,054 | 0,0032 | 0,02 | - | | 4 |
| C | 0,048 | 0,03 | 0,24 | 0,014 | 0,006 | 0,051 | 0,0034 | 0,03 | - | | 2, 5, 6 |
| D | 0,03 | 0,03 | 0,20 | 0,012 | 0,005 | 0,078 | 0,0050 | 0,04 | - | | 7 |
| E | 0,04 | 0,02 | 0,25 | 0,020 | 0,015 | 0,061 | 0,0033 | - | - | Vergleich | 8 |
| F | 0,04 | 0,03 | 0,25 | 0,008 | 0,007 | 0,065 | 0,0047 | - | - | Vergleich | 9 |
| G | 0,08 | 0,06 | 0,58 | 0,015 | 0,008 | 0,043 | 0,0038 | 0,01 | 0,05 | | 13 |
| H | 0,08 | 0,10 | 0,54 | 0,010 | 0,002 | 0,046 | 0,0039 | 0,02 | 0,05 | | 14 |
| I | 0,08 | 0,09 | 0,56 | 0,015 | 0,005 | 0,049 | 0,0046 | 0,03 | 0,06 | | 15 |
| K | 0,06 | 0,40 | 1,11 | 0,018 | 0,006 | 0,043 | 0,0039 | - | 0,05 | Vergleich | 16 |
| L | 0,04 | 0,04 | 0,22 | 0,077 | 0,011 | 0,073 | 0,005 | 0,03 | - | | 17 |
| M | 0,06 | 0,04 | 0,78 | 0,068 | 0,011 | 0,047 | 0,007 | 0,025 | - | | 18 |

Tabelle 2

| Stahl | Tw °C | Th °C | K min/max. | Figur |
|-------|----------|----------|---------------|-------|
| A | 860 | 490 | 10/7 | 3 |
| B | 870 | 500 | 11/9 | 4 |
| C1 | 870 | 500 | 11/9 | 5 |
| C2 | 880 | 450 | 11/9 | 6 |
| D | 890 | 430 | 11/9 | 7 |
| E | 900 | 710 | 9/4 | 8 |
| F | 890 | 500 | 9/6 | 9 |

Tabell 3

| Stahl | Tw °C | Th °C | Pg t/h | K | Δr min/max | Figur |
|-------|----------|----------|-----------|------|---------------|-------|
| C3 | 880 | 520 | 1,1 | 9-10 | -0,07/+0,06 | 2a |
| C4 | 915 | 540 | 1,9 | 9-10 | -0,04/+0,08 | 2b |
| C5 | 870 | 710 | 1,9 | 8- 9 | +0,09/+0,17 | 2c |

In Tabelle 2 und 3 bedeuten

Tw Walzendtemperatur
Th Haspeltemperatur
K Korngröße nach ASTM
Pg Glühdurchsatz
Δr ebene Anisotropie

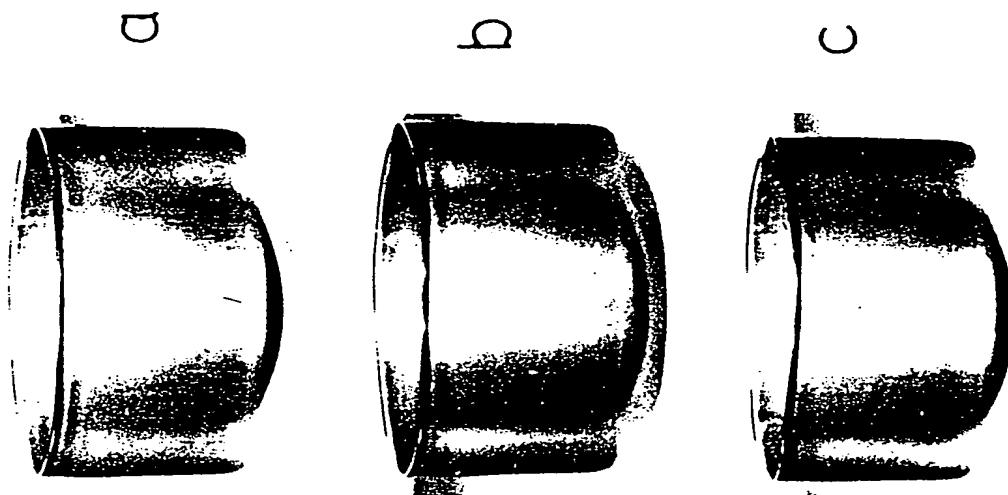


FIG.2

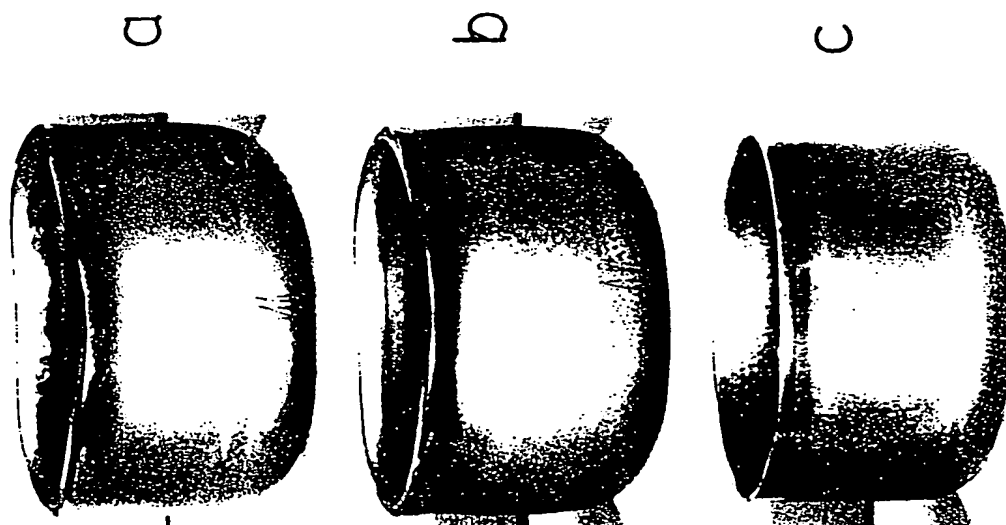


FIG.1

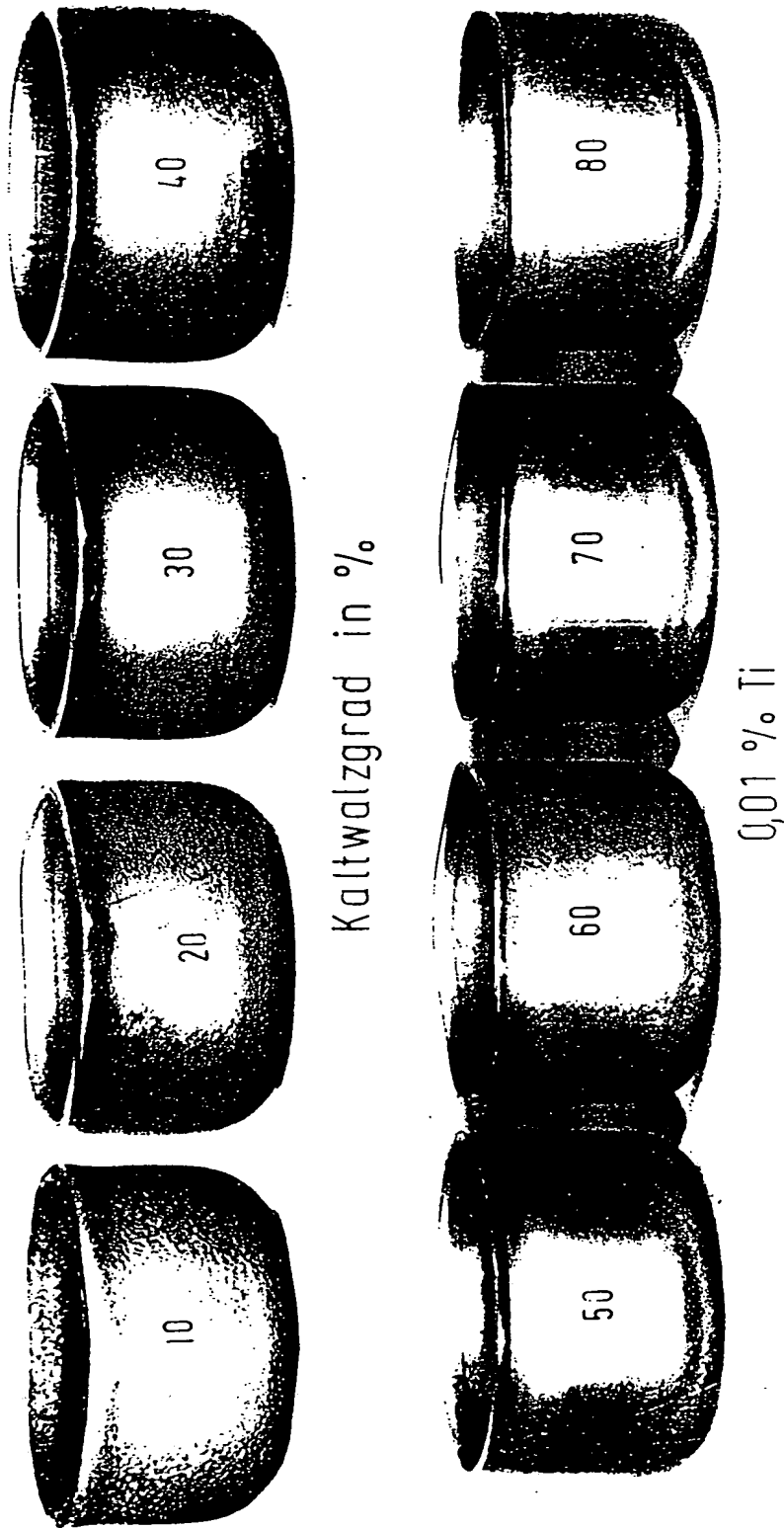


FIG. 3



Kaltwalzgrad in %



0,02 % Ti

FIG. 4

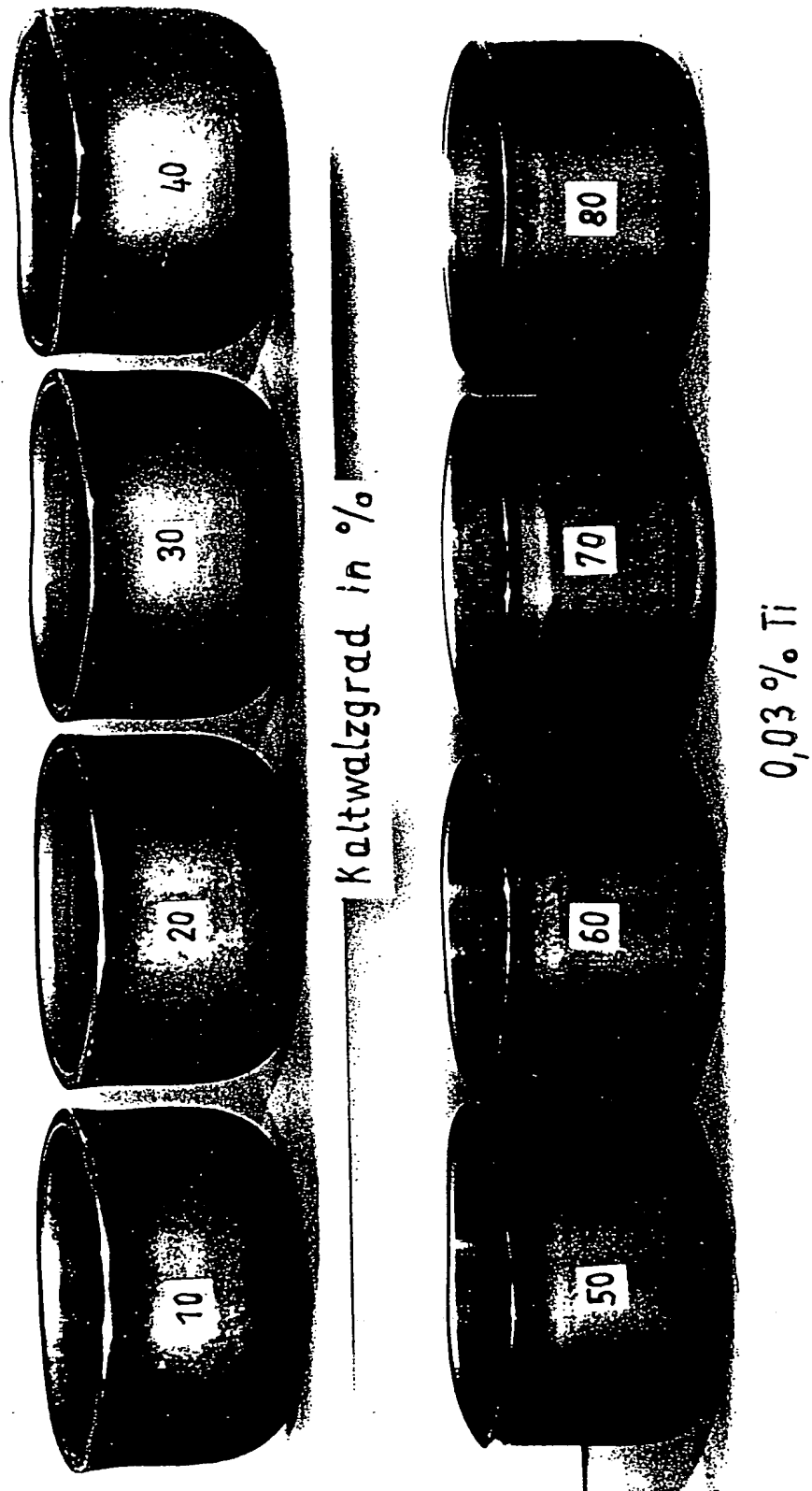


FIG. 5

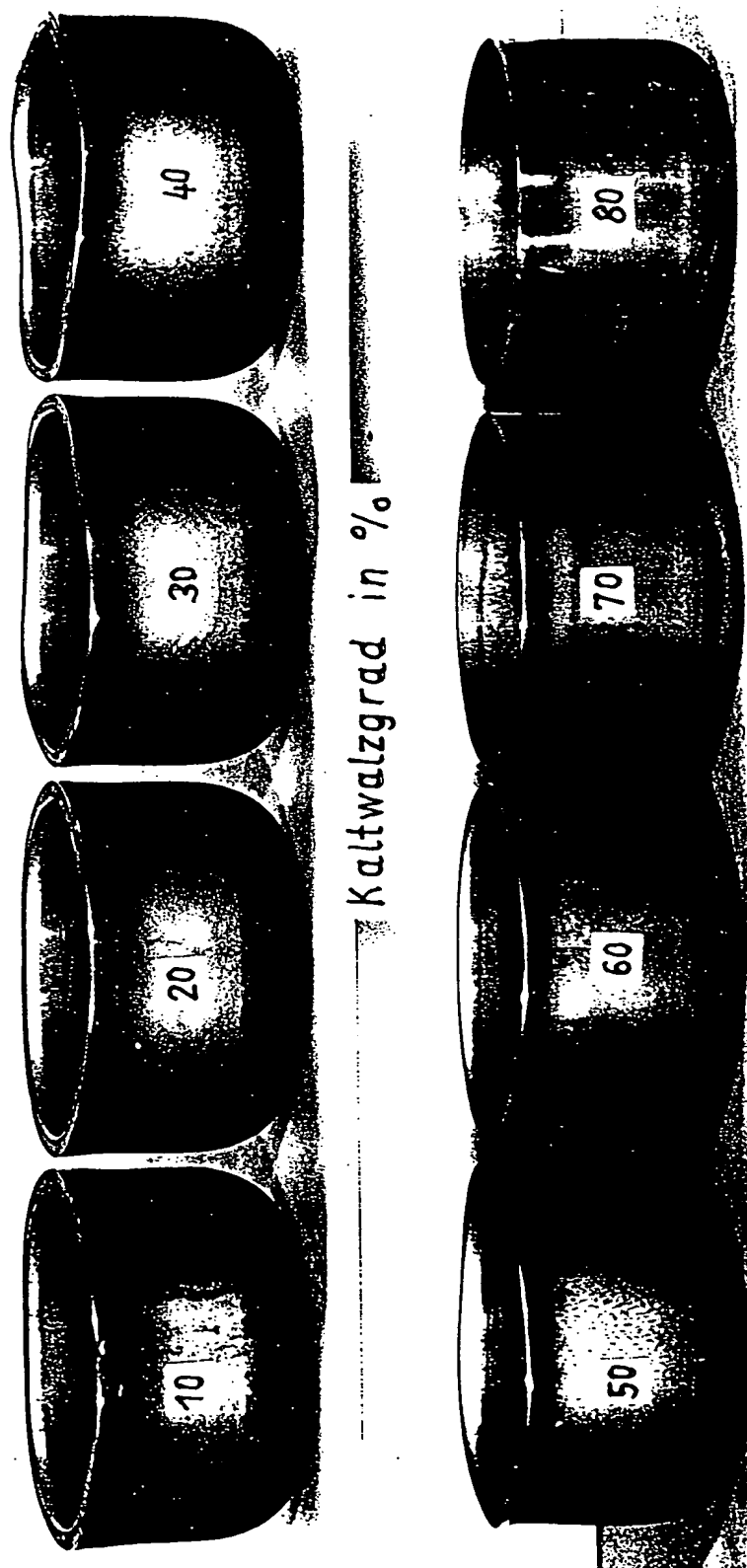


FIG. 6

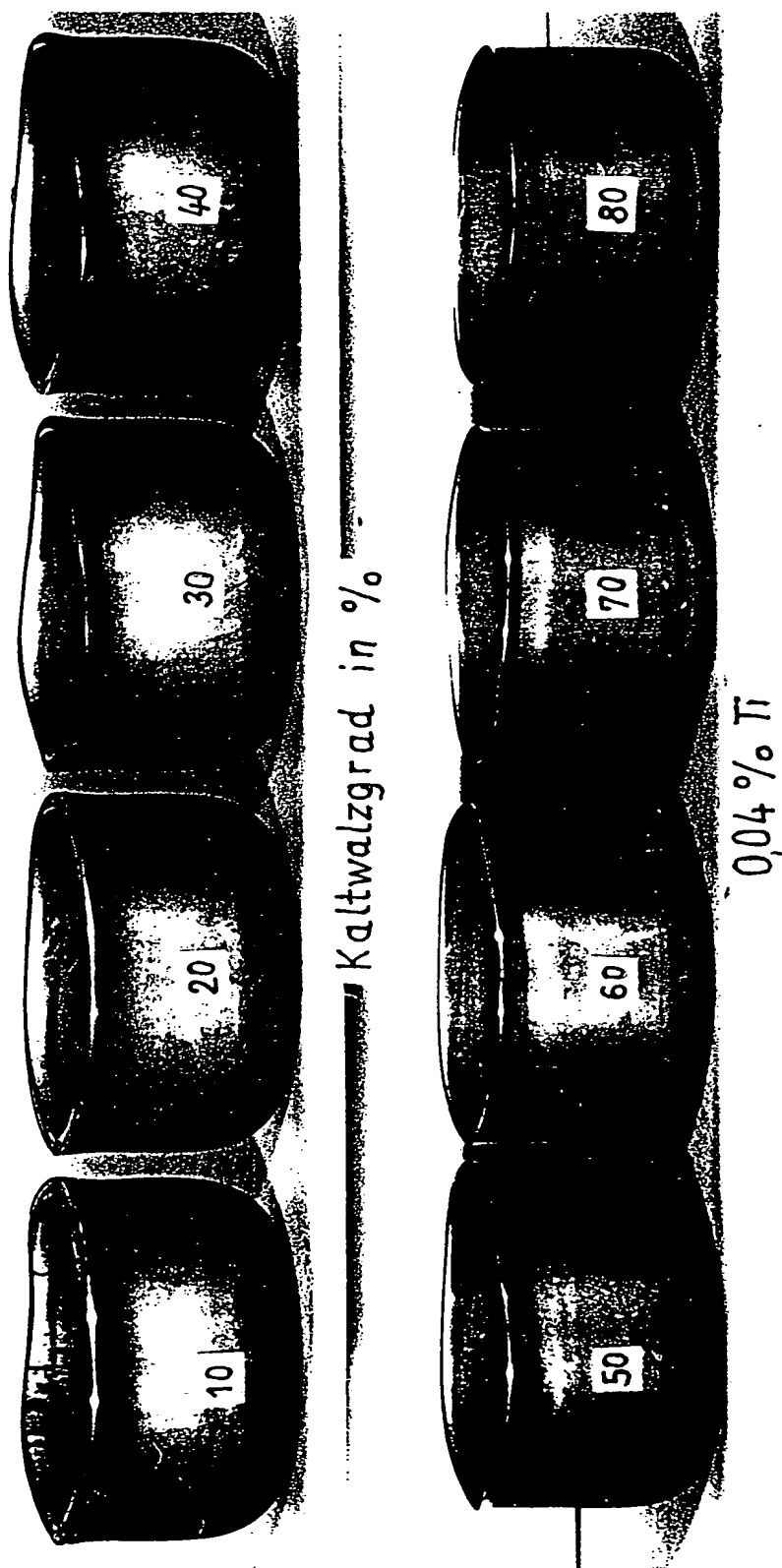
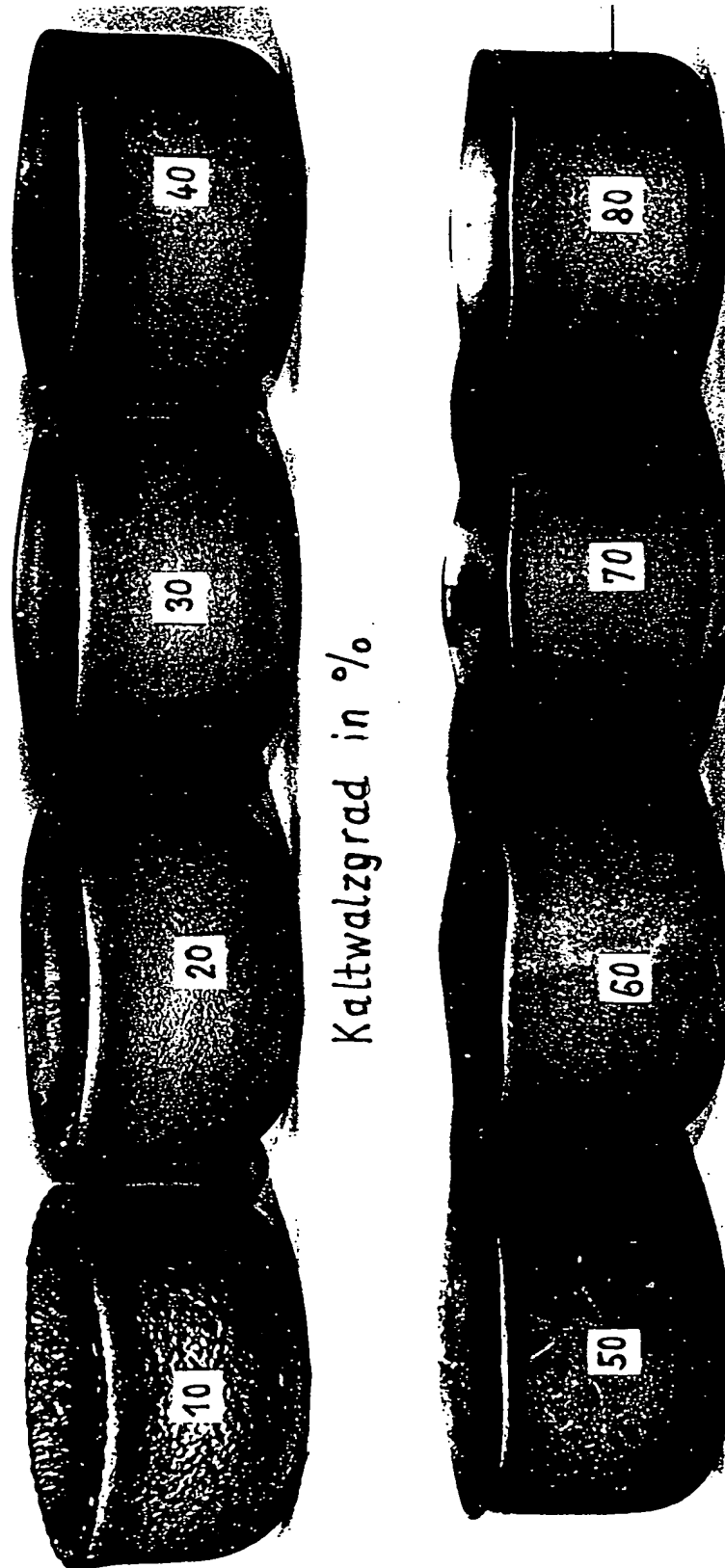


FIG. 7



Kaltwalggrad in %

FIG. 8

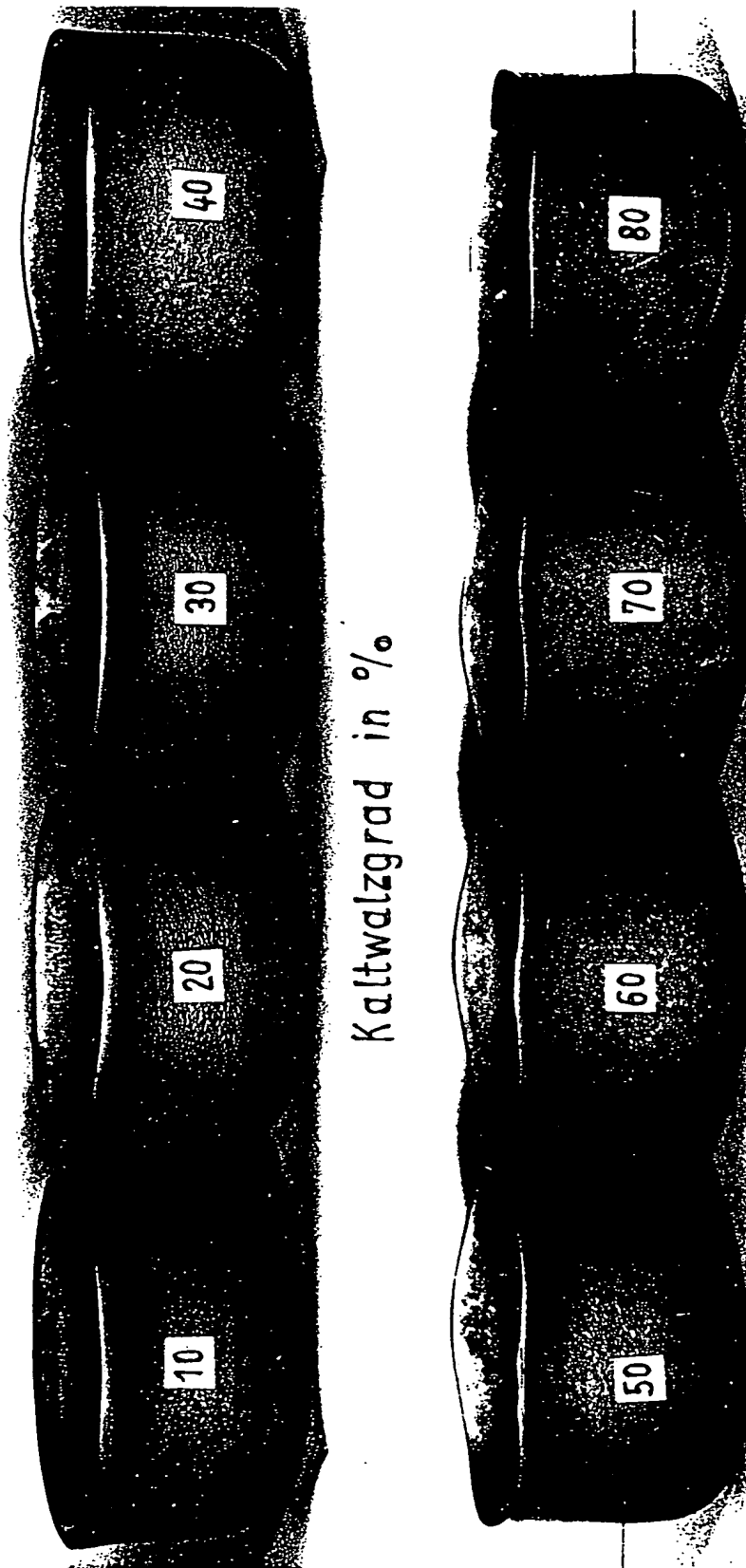
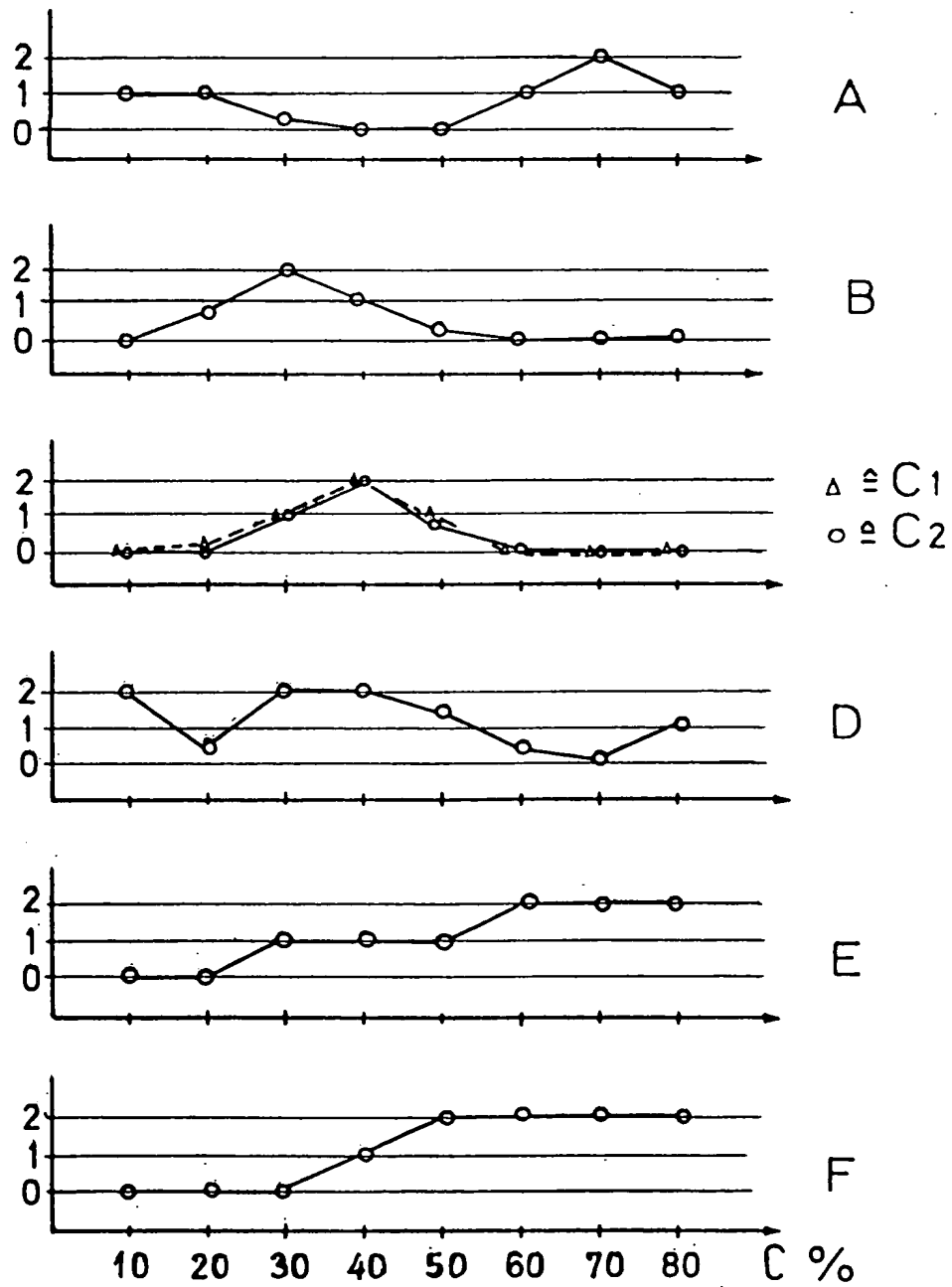


FIG. 9

Fig. 10

Legierung



0 ≙ zipfelfrei , 1 ≙ zipfelarm , 2 ≙ zipfelig

Fig. 11

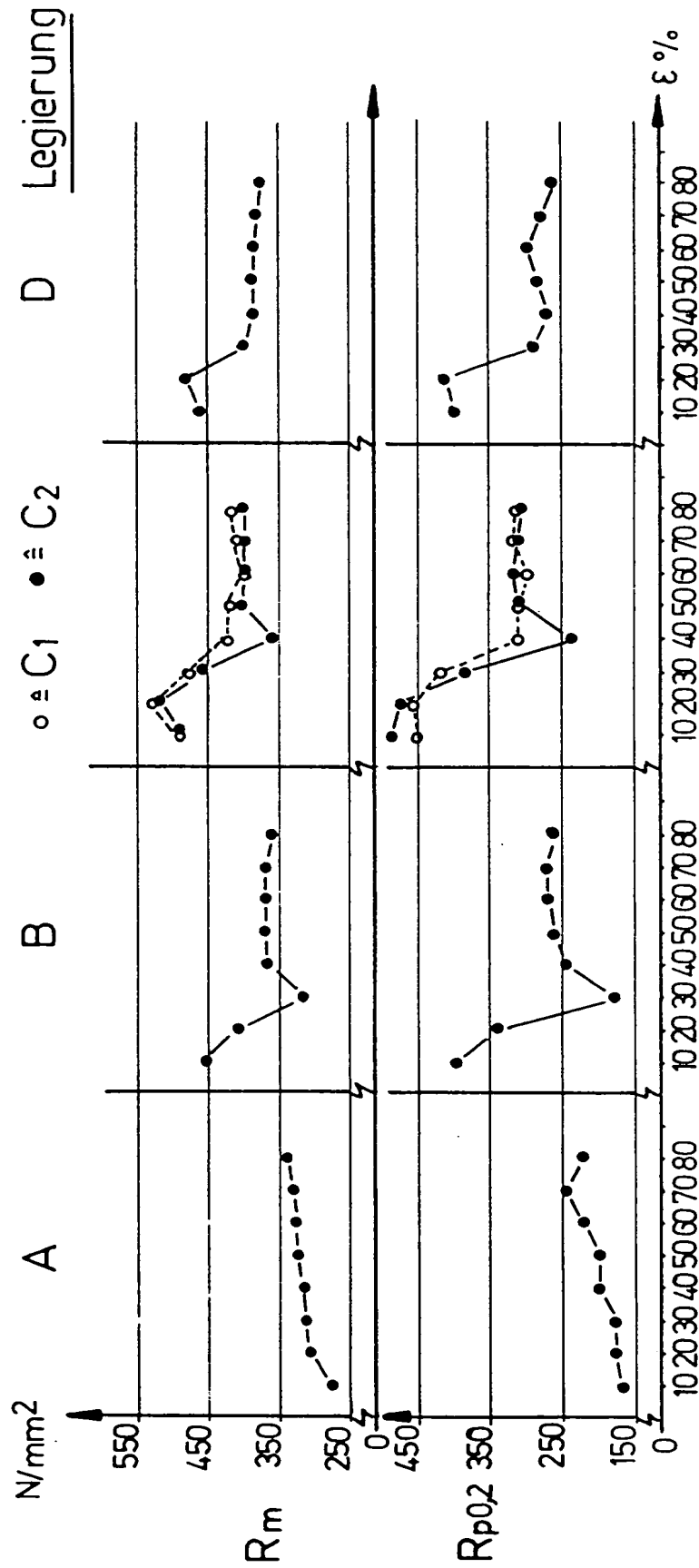
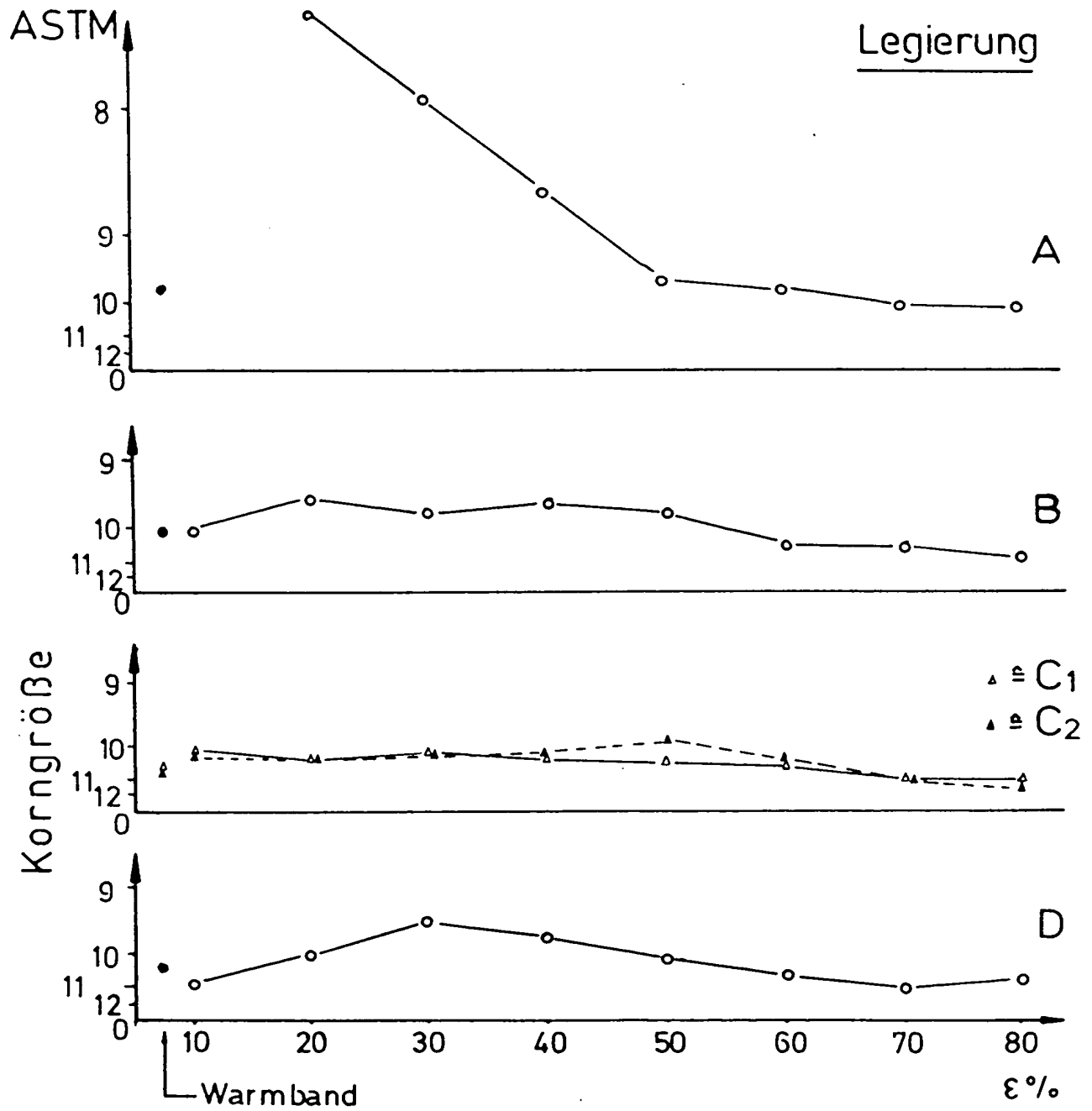
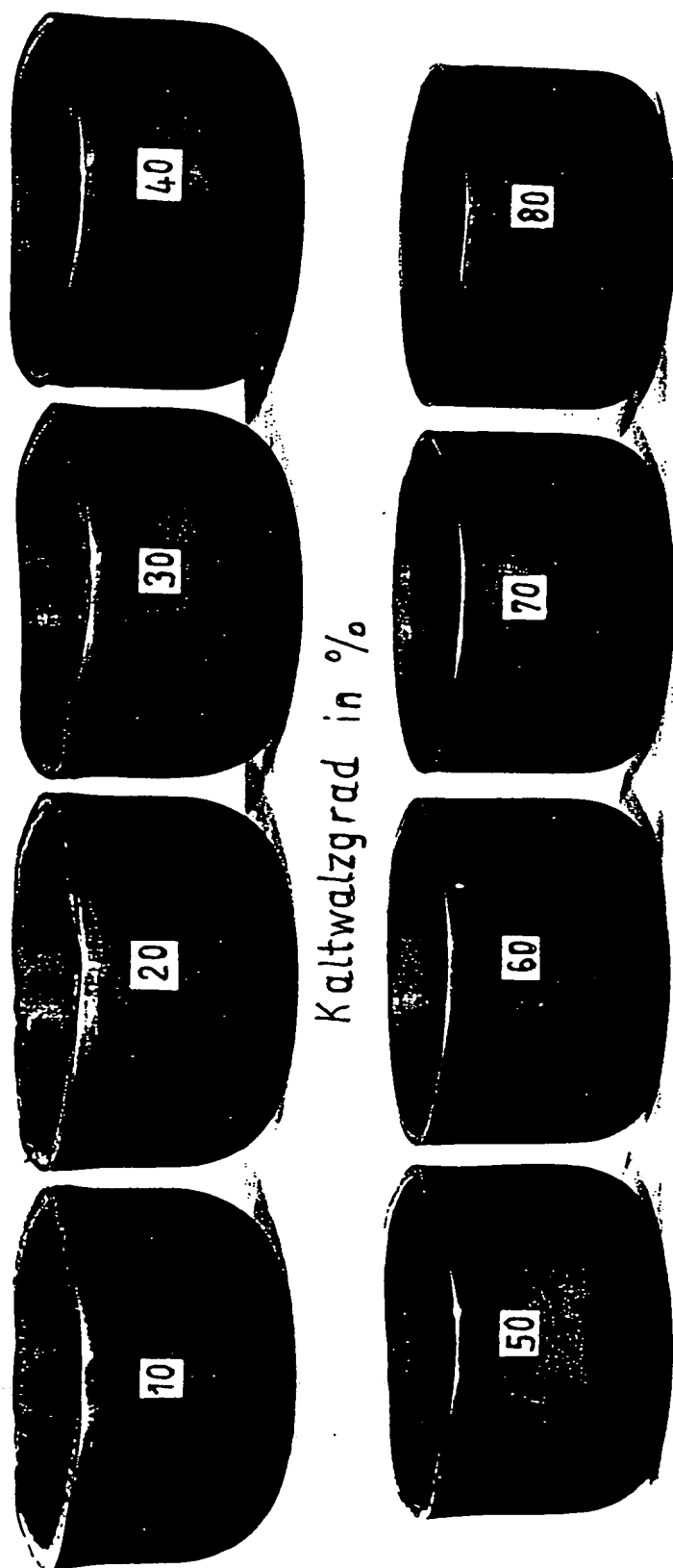


Fig. 12





0,01 % Ti 0,05 % Nb

FIG.13

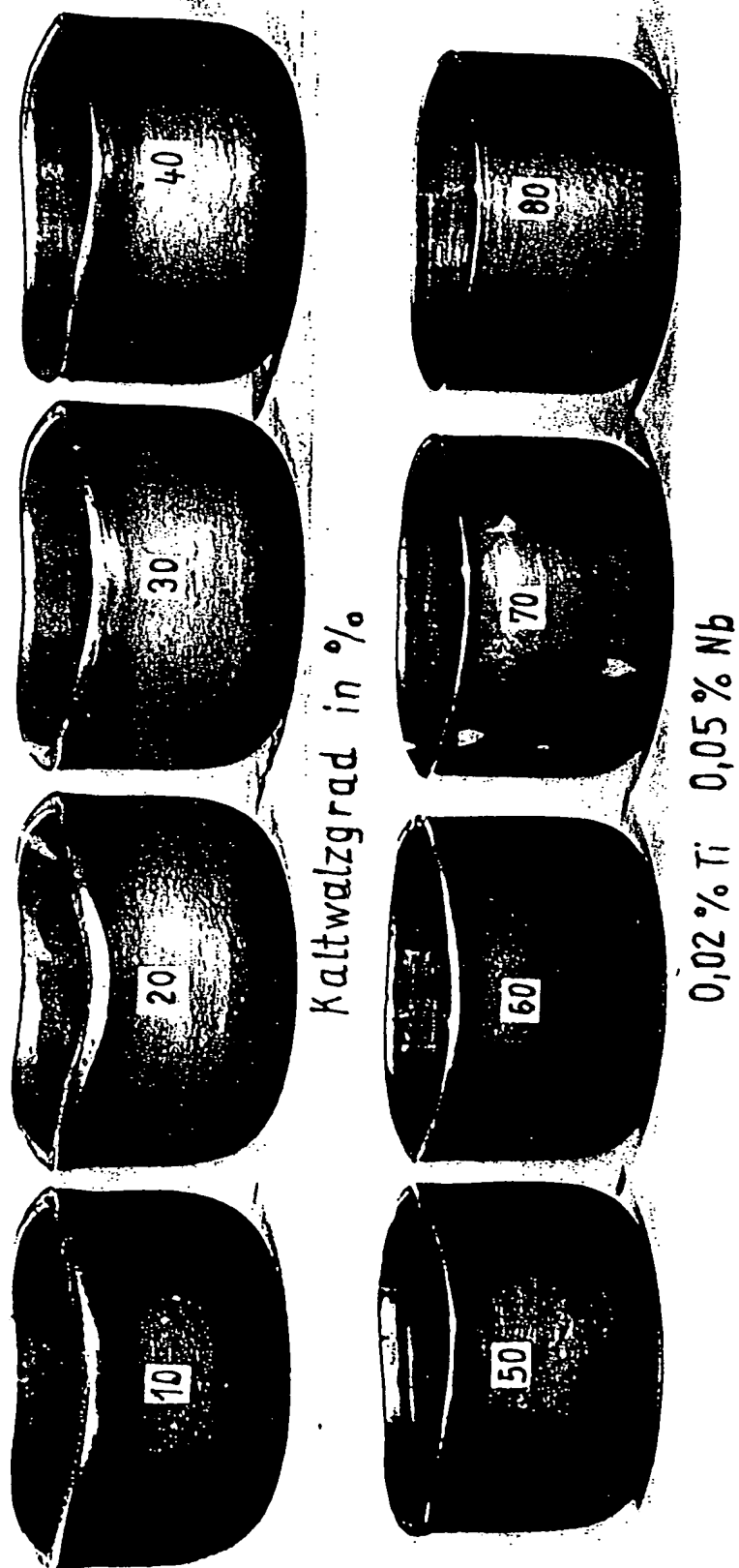


FIG. 14

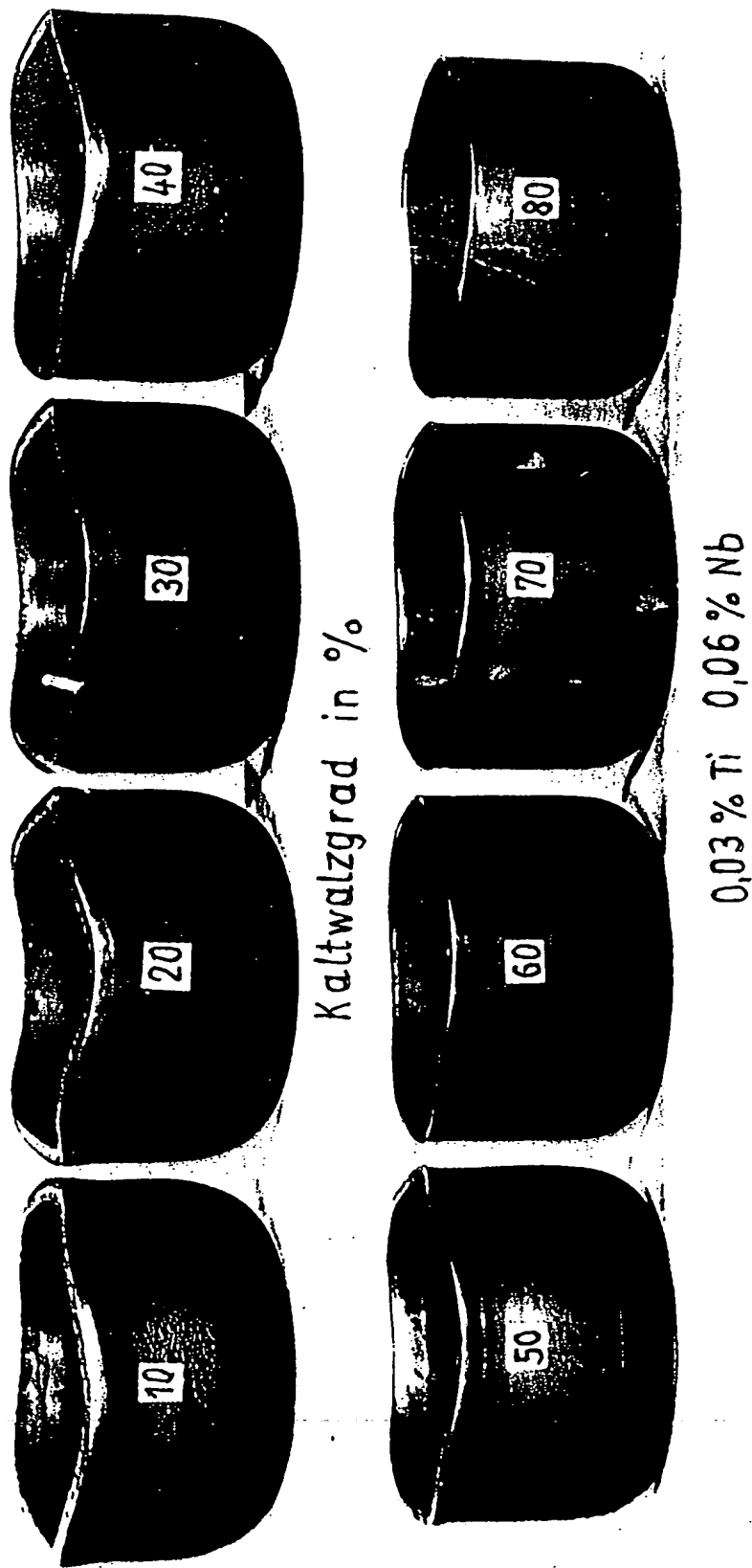
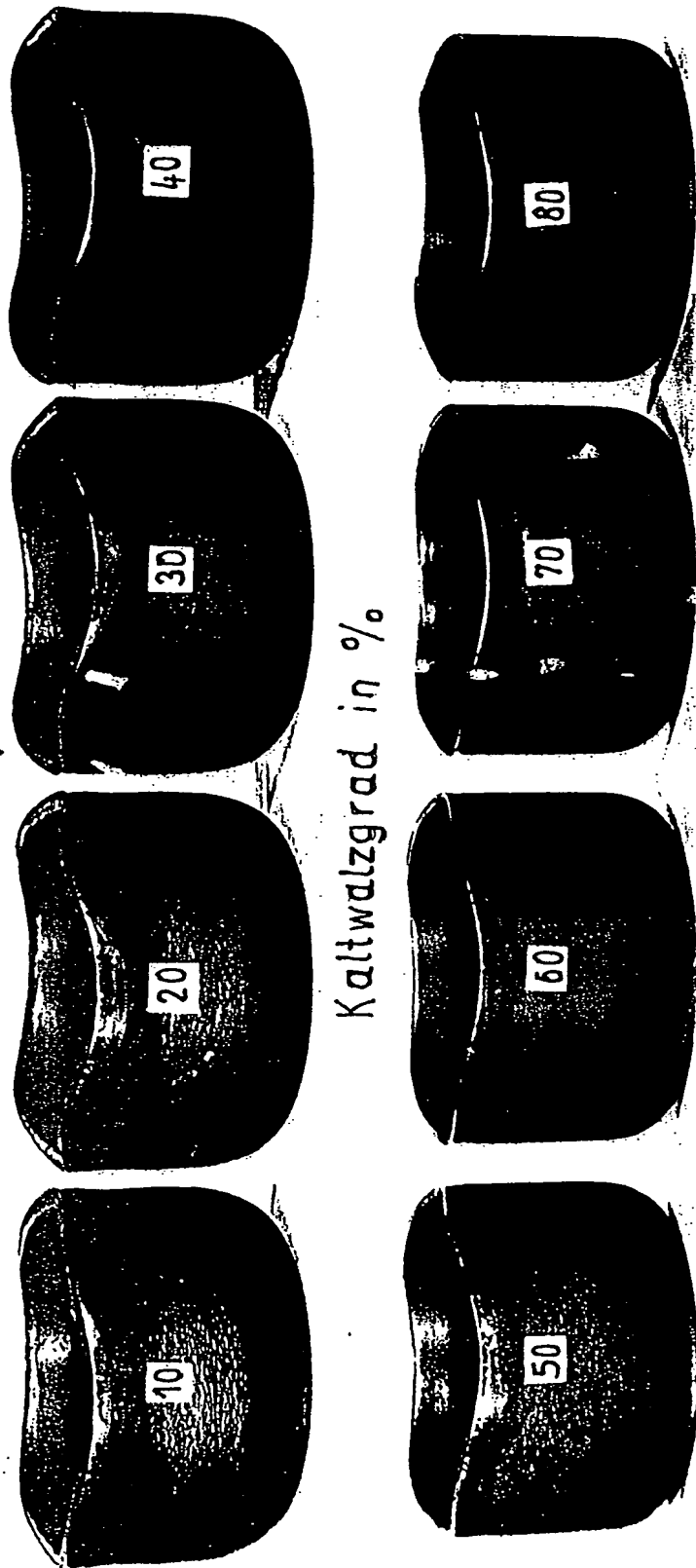


FIG.15



Kaltwalzgrad in %

0,05 % Nb

FIG. 16

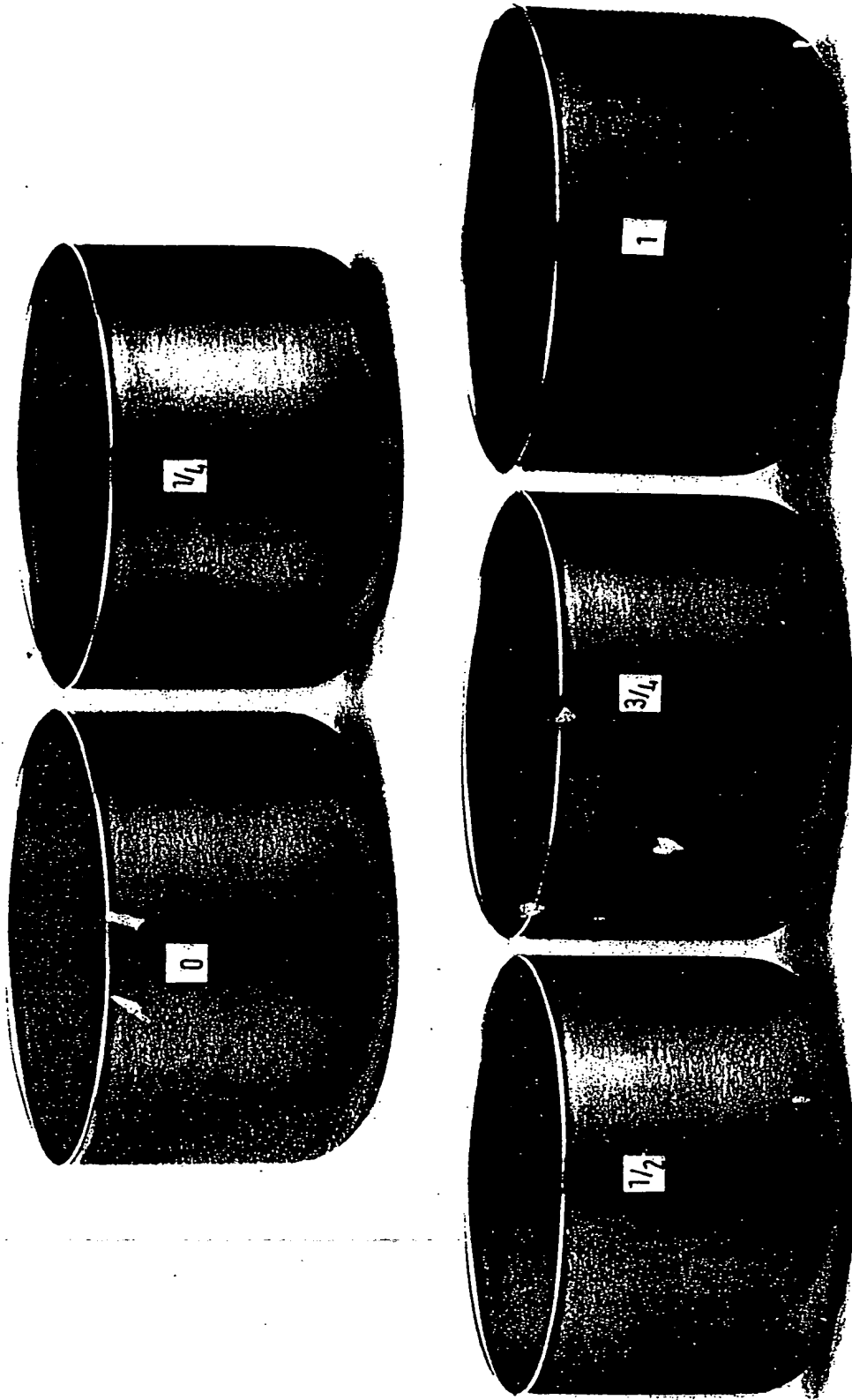


FIG.17

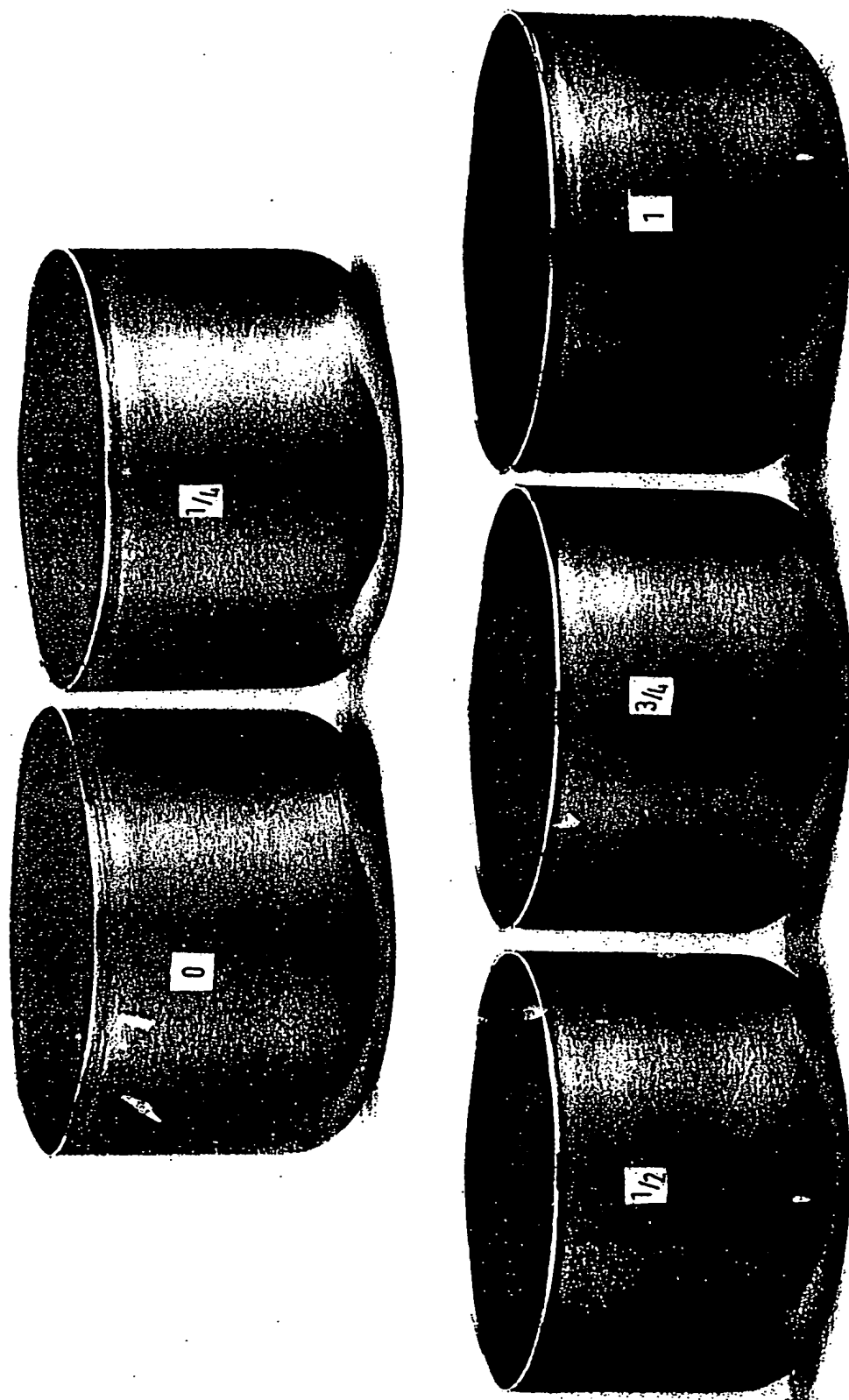


FIG. 18

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120